

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

М.А.Саттаров¹, И.Э.Эшмирзоев², Ф.Рахимов³,

¹Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15

²Министерство мелиорации и водного хозяйства Таджикистана, 734064, Душанбе, ул. Шамс 5/1

³Таджикский аграрный университет, 734017, Душанбе, пр. Рудаки, 146

ВВЕДЕНИЕ

Территория Таджикистана – зона формирования речного стока бассейна Аральского моря. Она занимает около 45% площади горной зоны бассейна и даёт более 50% (>57 км³/год) поверхностного стока Средней Азии. Качество стока рек в настоящее время относится к I классу чистоты: величина минерализации находится в пределах 0.1 – 0.4 г/л, а запасы подземных вод с минерализацией менее 1 г/л составляют около 18, 7 км³/год. Статические водные запасы вековых ледников, горных озёр, крупных водохранилищ и подземных водоносных пластов оцениваются 540 км³ [2;3]. Гидрографическая сеть Таджикистана представлена более 25 тыс. водотоков с общей протяжённостью 69,2 тыс. км, 96% которых составляют водотоки длиной менее 10 км с общей протяжённостью более 46 тыс. км. В высокогорной зоне насчитывается более 1900 озёр, с суммарной площадью зеркала 709 км². Из общей площади оледенения Средней Азии около 17000 км², т.е. более 50% находится в Таджикистане [2;3;5]. В весенне-летний период, чаще всего в апреле-июне, частые ливни и продолжительные дожди на общем фоне талого половодья формируют разрушительные наводнения, паводки, селевые потоки. Ежегодные атмосферные осадки в горах и многовековые ледники – основной источник питания рек в жаркие засушливые летние месяцы, когда потребность в пресной воде для народного хозяйства региона максимальна, что связано с орошением земель (табл.1).

Таблица 1. Развитие орошаемого земледелия в Средней Азии за 90 лет, тыс.га [1].

| | 1913 | 1940 | 1950 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 2003 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Узбекистан | 1339 | 1974 | 2053 | 2377 | 2575 | 2751 | 3006 | 4020 |
| Таджикистан | 211 | 297 | 300 | 391 | 468 | 518 | 567 | 720 |
| Туркменистан | 307 | 373 | 352 | 435 | 514 | 643 | 819 | 1185 |
| Киргизстан | 435 | 794 | 797 | 889 | 861 | 883 | 911 | 1020 |
| Всего | 2292 | 3438 | 3502 | 4092 | 4418 | 4795 | 5303 | 6945 |

Анализ гидрометеорологических материалов (1930-1990) показывает, что за период 1960-1990 гг. объём среднего годового стока, формирующегося на территории республики, уменьшился с 57.01 км³/год до 53.6 км³/год, т.е. в среднем на 0.2% в год. Наибольшее сокращение стока наблюдалось на р.р. Зеравшан, Вахш и Пяндж – 7%. В меньшей степени сокращение стока наблюдалось на реке Кафирниган – 3%. На восточном Памире сток рек сократился лишь на 0.3%, что является локальным явлением, т.к. аналогичный сравнительный анализ рек Закавказья и Украины показал увеличение стока рек в своих регионах на 5-6% [2;4]. Ослабление роли ледников, как регуляторов речного стока и изменения внутригодового режима рек Средней Азии, диктует необходимость реализации адаптационных мер [2].

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Известная методика стационарного расчета стока рек по гидропостам, как правило, точна и эффективна для рек с равномерным течением. Однако основная часть

водных ресурсов бассейна Аральского моря формируется в высокогорных районах Кыргызстана и Таджикистана, и в начале течет по руслу горных рек Вахш, Нарын, Пяндж, Кафирниган, Зерафшан и их многочисленных притоков. Как правило, основные ресурсы этих рек формируются в период половодья (более 60-70%), расчет которых требует применения нестандартных методов, ибо стационарный метод измерения не может точно фиксировать тот объем скоротечного бурного паводкового или селевого потока, погрешности измерений которого могут составлять 15-20% и более. Отличительной особенностью площадей водосбора горных рек является резкое расчленение рельефа и обусловленная им дренированность, благодаря чему впитавшаяся в грунт влага почти целиком поступает в речную сеть своего водосбора, а жидкие атмосферные осадки быстро стекают вниз в равнину. В связи с этим, для оценки динамических водных ресурсов горных рек наряду с классическим методом замера по постам предлагается балансовый метод расчета, суть которого отражена в следующем уравнении [6]:

$$Q = S \times A(1 - k),$$

где $k = E/A + F/(SA) \ll 1$, т.е. суммарная величина испарения влаги в атмосферу и инфильтрация в грунт в условиях высокогорья значительно меньше, чем величина жидких осадков, которые успевают стечь вниз в виде стока в равнину. Q – средний многолетний или годовой сток бассейна горной реки, S – площадь водосбора (км^2), A – среднееголетняя (годовая) величина атмосферных осадков, поступивших на единицу площади водосбора реки (в мм), E – средняя (многолетняя и годовая) величина испарения влаги с единицы площади водосбора (в мм), F – средняя многолетняя (годовая) величина подземного оттока воды за пределы площади водосбора (км^2). Действительно, учитывая, что среднееголетние данные атмосферных осадков горной части Центральной Азии ($S=32,4$ млн. га) не превышают 750-800 мм в год, а в условиях высокогорья в подавляющих случаях не более 1/3 части осадков успевают испариться, этим методом выполнен расчет динамики водных ресурсов площадей водосбора основных рек Таджикистана и ЦА региона в целом. В частности, из табл.2 видно, что полученные балансовым методом оценки с большой точностью совпадают с известными данными исследователей, расчет которых выполнен другими методами.

Таблица 2. Расчет стока и расхода рек Таджикистана методом водного баланса

| Река | Площадь водосбора тыс.км ² | Ср.величина осадков м ³ /га | Знач. Коэф k | Ср. вел. стока, км ³ /год | Средн. Расход м ³ /с | Данные литературы [3, 5] | |
|----------------------------|---------------------------------------|--|--------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | | | | | Км ³ /год | м ³ /с |
| Вахш | 39,1 | 7750 | 1/3 | 20,15 | 640 | 21,2 | 670 |
| Кафирниган | 11,7 | 7750 | 1/3 | 6,04 | 191 | 5,7 | 170 |
| Зерафшан | 11,0 | 7750 | 1/3 | 5,68 | 180 | 5,2 | 165 |
| Бассейны рек Аральск. Моря | 324,0 | 7750 | 1/3 | 167,4 | 5305 | 170,0 | 5387 |

О ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ.

Экстенсивное земледелие при отсутствии опыта оросительной мелиорации в новых слабо изученных предгорных долинах и степях привело к засолению и снижению плодородия земель, а в ряде случаев к выходу земель из севооборота. Такая ситуация наблюдается не только в межгорных долинах Таджикистана, но и в орошаемых степях Узбекистана, и в Туркменистане в зоне большого Каракумского канала. Такое заключение, в частности, имеется и в отчете Научно-Консультативного Совета

ЮНЕСКО по бассейну Аральского моря (SABAS ([8], с.152). При этом Совет отмечает: «Несмотря на нынешний экономический кризис, Таджикистан имеет значительный потенциал для развития. Население страны хорошо образовано, земли плодородны и могут обеспечить производство продукции конкурентоспособной на внешнем рынке» (Там же, с. 174). В табл.3 приведены данные ученых SABAS'a о состоянии аграрной отрасли республики на 1990 г. и на прогнозируемый 2025 год. Очевидно, реализация предлагаемых рекомендаций SABAS'a и других, требует коренного пересмотра установившихся в течение десятилетий традиций и способов орошаемого земледелия.

Защита орошаемых земель от засоления и заболачивания, зависит от многих факторов, среди которых определяющим является качество проектных разработок по расчету конструктивных элементов канала, обеспечивающих его максимальную пропускную способность при минимуме потери воды на фильтрацию, как из крупных и малых каналов, так и при подаче воды непосредственно в поле.

Таблица 3. Водохозяйственная статистика Таджикистана [6] на 1990 и 2025 гг.

| № | Объекты водопотребления и их параметры | 1990 г. | 2025 г. |
|---|---|--|--|
| 1 | Использование воды для полива, м ³ /га расход воды: тыс.м ³ на тонну: зерна, риса, хлопка | >16000 >2,51; 10; 6 | <8000 ≤1,1; 4,0; 2,6 |
| 2 | Потери воды в каналах/потери воды в поле, % | >30/15 | <15/10 |
| 3 | Засоление орошаемых земель, в % от общего | >30-45 | <10 |
| 4 | Посевная площадь, тыс. га | 809 | 2000 |
| 5 | Орошаемая пашня, тыс. га •эффекты применения воды на поле, в % | 720 ≤40 | 1500 >75 |
| 6 | Обеспеченность питьевой водой: город/село, % | <40-60/20-40 | ≥80/60 |
| 7 | Структура посева и урожайность, тыс.га/ц/га • зерновые (пшеница, кукуруза, рис и др.) • технические культуры (хлопок и др.) • картофель, овощи, бахча • многолетние насаждения, сады, пл. винограда • кормовые | 419/11;11;17 236/14 47,9/100;144;67 102,9/ ----- 107,6/17,8кормЕ | >500/20;40;40 ≥600/30 >125/300; 170 >300/оптимальн 300/до 35 кормЕ |

Известно, что при проектировании канала его уклон предопределяется рельефом и степенью размываемости грунтовых толщ района. Канал будет гидравлически наивыгоднейшим, если он при данном уклоне и допускаемой максимальной скорости обладает наибольшей пропускной способностью и устойчивостью своего русла. Например, если заданы геометрические параметры канала и его уклон, то задаваясь глубиной наполнения H , вычисляют площадь живого сечения ω , смоченный периметр χ , гидравлический радиус $R = \omega/\chi$ потока, скоростной множитель – коэффициент C , и затем определяют расход Q и скорость $U = Q/\omega$ течения в канале по формуле Шези [7]:

$$Q = C\omega \sqrt{RI} \equiv K\sqrt{I}; \quad (K = C\omega \sqrt{R}) \quad (1)$$

Из множества возможных вариантов сечений наибольшей пропускной способностью обладает тот канал, который имеет наименьший смоченный периметр χ и наибольший гидравлический радиус и по Шези будет иметь наибольшую расходную характеристику K . В рамках теории гидравлического радиуса задача о наивыгоднейшем сечении канала сводится к определению соотношения между

размерами ширины канала B по дну и H – глубины наполнения канала водой. В естественных условиях, когда русла рек и каналов проходят через сыпучие и легко размываемые грунтовые отложения (песок, супесь, лесс и др.), поток в зависимости от уклона местности формирует свой наивыгоднейший профиль, который, отличается от трапеции или полукруга.

Известно [7], что канал будет наивыгоднейшим, если его геометрические параметры удовлетворяют следующим соотношениям (R , χ , ω – гидравлический радиус, смоченный периметр, площадь поперечного сечения каналов):

► для канала с полуэллипсоидальным поперечным сечением:

$$x^2/B^2 + y^2/H^2 = 1; 2B = 18H, R = 0,75H, \chi = 2\pi B/3, \omega_{el} = \pi BH/2 \equiv 9\pi H^2/2, \quad (2)$$

► для канала с параболическим поперечным сечением:

$$2B = 2,191H, p = 0,6H, R = 0.5447H, \chi = 1.38B = 1.512H, \quad (3)$$

► для канала трапецеидальной формы сечения:

$$\omega = 0,5H(B + b) = [b + 0,5H(ctg\beta_1 + ctg\beta_2)]H; \chi = b + H(\sin\beta_1 + \sin\beta_2)/\sin\beta_1\sin\beta_2, \quad (4)$$

где b и B – соответственно ширина канала по дну и по водной поверхности, H – глубина потока, $a_1, a_2, \beta_1 > 0, \beta_2 > 0$ – величины заложения и углы наклона левого и правого откосов канала. Трапецеидальный канал с радиусом $R = H/2$ обладает наибольшей пропускной способностью, при соотношении:

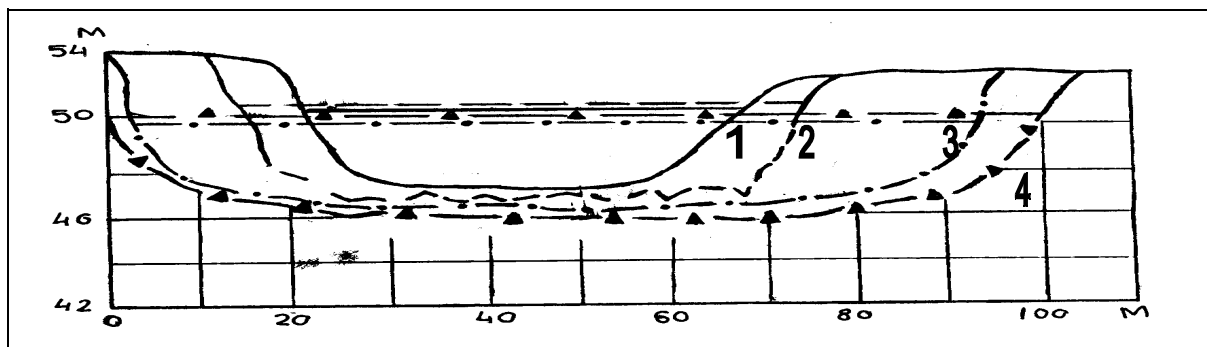
$$b/H = (1 - ctg\beta_1)/\sin\beta_2 + (1 - ctg\beta_2)/\sin\beta_1. \quad (5)$$

Оно является обобщенным индикатором выбора оптимальных геометрических параметров сечения канала трапецеидальной формы. При этом суммарная величина углов наклона может принимать значения лишь в отрезке $90^\circ \leq \beta_1 + \beta_2 \leq 180^\circ$, т. к. при $\beta_1 + \beta_2 < 90^\circ$ в рамках теории гидравлического радиуса принцип максимума гидравлического радиуса и оптимальности сечения потеряет свой смысл. Из (5) следует весьма важный для практики вывод о том, что оптимальная относительная ширина трапецеидального канала по дну зависит только от углов наклона откосов канала к горизонту. Например, при $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$ получается $b = 2H$ и канал превращается в канал с параллельными стенками, а в случае $\beta_1 + \beta_2 = 90^\circ$ трапеция трансформируется в треугольник, и максимальная пропускная способность канала имеет место при:

$$tg[(\beta_1 + \beta_2)/2] = 1. \quad (6)$$

Формула (6) представляет особый интерес, т.к. при любом сочетании углов откоса независимо от наполнения канала его пропускная способность определяется характером этих углов. Например, при $\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ$ поперечное сечение канала примет вид прямоугольного треугольника с шириной $2H$ по водной поверхности и глубиной H . При этом площадь сечения канала минимальна и равна $\omega = H^2$. На рисунке показано изменение поперечного сечения Каракумского канала в створе 0.7 км от р. Амударьи. Видно, что с течением времени проектный трапецеидальный профиль, меняясь, стремится к наивыгоднейшему полуэллипсоидальному, который, кстати, является самым наивыгоднейшим и для судоходства, т.к. $B_k = 18H$.

В долинах с связными грунтами (лесс, суглинок, глина и т.д.) наивыгоднейшим профилем канала будет криволинейная трапеция, состоящая из сочетания прямых линий с полуциркульными кривыми (парабола, полуэллипс, гипербола и др). При бороздковых поливах, в гидроагротехническом отношении эффективной является борозда в виде равнобедренного треугольника с углами заложения 45° .



1-1960г., 2-1965г., 3-1970г., 4-1974г.

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕСНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.

Подземные пресные воды (около $6,65 \text{ км}^3/\text{год}$) Таджикистана подвижны, т.к. они сосредоточены в песчаных отложениях межгорных долин и конусах выноса горных рек и являются крупными хранилищами - "магазинами" природных вод. Такие «магазины» с объемом воды 300 км^3 и более образовались в зоне влияния Каракумского канала за последние 50 лет. Это позволяет поставить и решить ряд практических задач теорий поливов и мелиоративной гидрогеологии в бассейнах горных рек Таджикистана, а также в песчаном бассейне Большого Каракумского канала Туркменистана. При решении проблемы оросительной мелиорации по борьбе с явлением засоления почвы необходимо реконструировать оросительную и проектировать дренажную систему таким образом, чтобы уровень грунтовых вод поддерживался на критической глубине ($>2-3 \text{ м}$). Для решения этой задачи как в конусах выноса горных рек, так и на трассах оросительных каналов равнинных долин необходимо установить оросительные нормы таким образом, чтобы на $Q_p \text{ м}^3$ подаваемой воды, поступающей из канала, подавалось $Q_n \text{ м}^3$ подземной воды. На основе уравнения баланса для решения этой задачи получено соотношение [6]:

$$Q_{ck} = nbQ_p/ma + e/a.$$

Здесь n и m – коэффициенты водоотдачи пласта и недостатка насыщения почвогрунтов в зоне аэрации ($n < m$), a – часть дебита Q_n скважины, идущая на питание растений с последующей ее транспирацией, b – доля потери воды из канала в поле, e – доля питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков. В условиях Южного Таджикистана установлено, что $b=0,5$, $a=0,75$, $n=0,95m$, $e=0,075$. Тогда имеем следующие значения для дебита скважины, соответственно: $Q_{ckw}=0,505Q_p$ и $Q_{ckw}=0,728Q_p$ или в долях имеем – 505:1000 и 728:1000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимов Ф. Модельные исследования гидравлических характеристик оросительных каналов. Автореф. канд. дис., 2004, Душанбе, 23 с
2. Саттаров М.А. и др. Водные ресурсы и водное хозяйство Таджикистана. Отчёт об уязвимости водных ресурсов и водного хозяйства при изменении климата. Управление гидрометеостанции Таджикистана, Душанбе, 2002, 52 с.
3. Таджикистан. Природа и природные ресурсы. Душанбе, «Дониш», 1982, 602с
4. Шикломанов И.А. Водные ресурсы мира в начале 21 века. ЮНЕСКО, (1998)
5. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, Л, 1965.
6. Эшмирзоев И.Э. Водные ресурсы и особенности оросительной мелиорации в межгорных впадинах Таджикистана. Автореф. канд. дисс., 2000, Душанбе, 23 с.
7. Яблонский В.С. Краткий курс технической гидромеханики. Москва: Госиздат. физ.-мат. литературы, 1961, 355 с.
8. Water Related Vision for the Aral Sea Basin. UNESCO, Paris, 2000, 237p.